

TB_SRM1 : Structure et résistance des matériaux 1

Chapitre 4. Traction – Compression



Centre Georges Pompidou, Paris, Piano - Rogers, 1977, structpedia.com

Objectif du chapitre

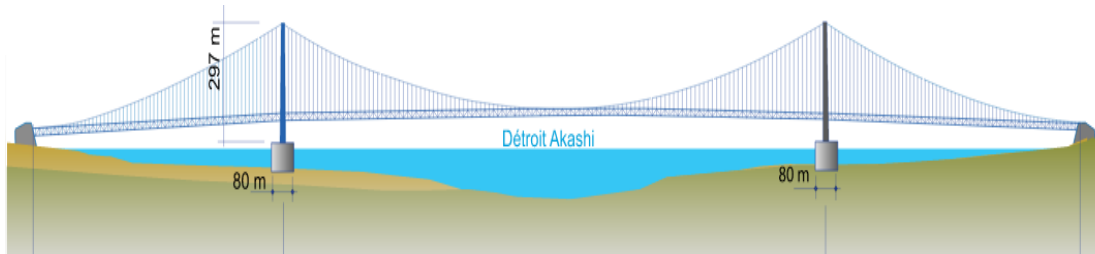
Dimensionner les éléments structurels linéaires sollicités en **traction** ou **compression**.

Plan du chapitre

- **Introduction**
- Relation contrainte et effort normal
- Essai de traction
- Critères de dimensionnement
- Lois de comportement

Exemples de structures sollicitées en traction

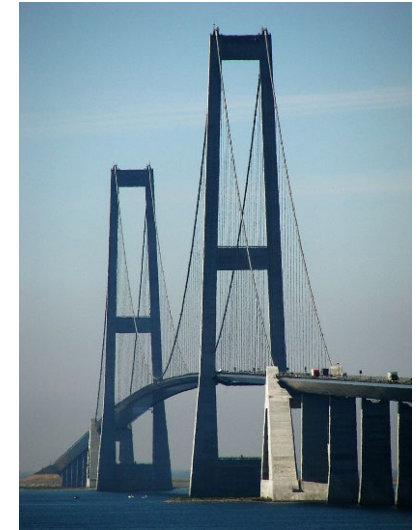
Câbles (torons pour haubans)



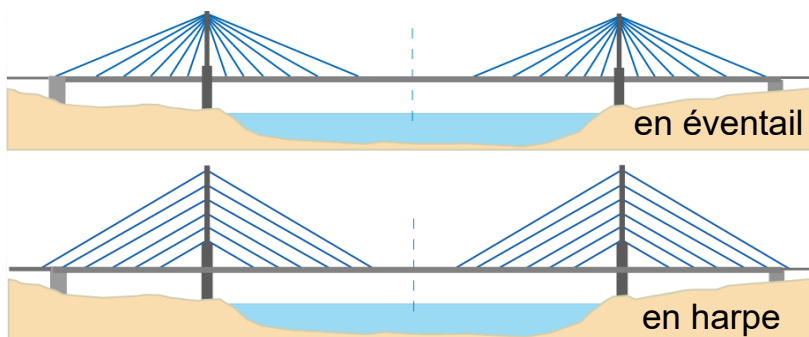
Pont suspendu



Pont du Golden Gate, San Francisco, 1917



Pont Est du Grand Belt, 1998



Pont à haubans



Viaduc de Millau, 2004



Pont de l'Alamillo, Séville, 1992

Exemples de structures sollicitées en traction

Câbles



Stade de Braga, 2003



Spectrum building, Swindon, 1982



Stade Olympique de Munich, 1967

Exemples de structures sollicitées en compression

Colonnes



Musée Carré d'Art, 1993, Nîmes



La Maison Carrée, temple romain du 1^{er} siècle, Nîmes

Exemples de structures sollicitées en traction / compression

Treillis



Centre Georges Pompidou, Paris, 1977



Hotel Arts, Barcelone, 1992



*Académie de formation à
Herne-Sodingen, 1992*

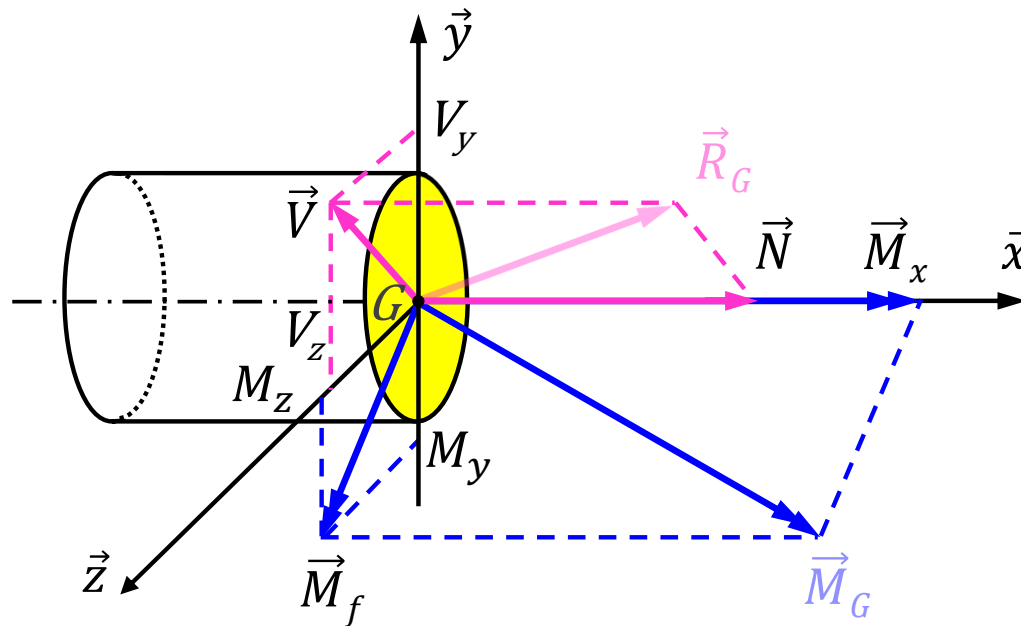
Objectif du chapitre

Dimensionner les éléments structurels linéaires sollicités en **traction** ou **compression**.

Plan du chapitre

- Introduction
- **Relation contrainte et effort normal**
- Essai de traction
- Critères de dimensionnement
- Lois de comportement

Efforts intérieurs en traction / compression



$$\vec{R}_G \left\{ \begin{array}{l} N \neq 0 \\ V_y = 0 \\ V_z = 0 \end{array} \right.$$

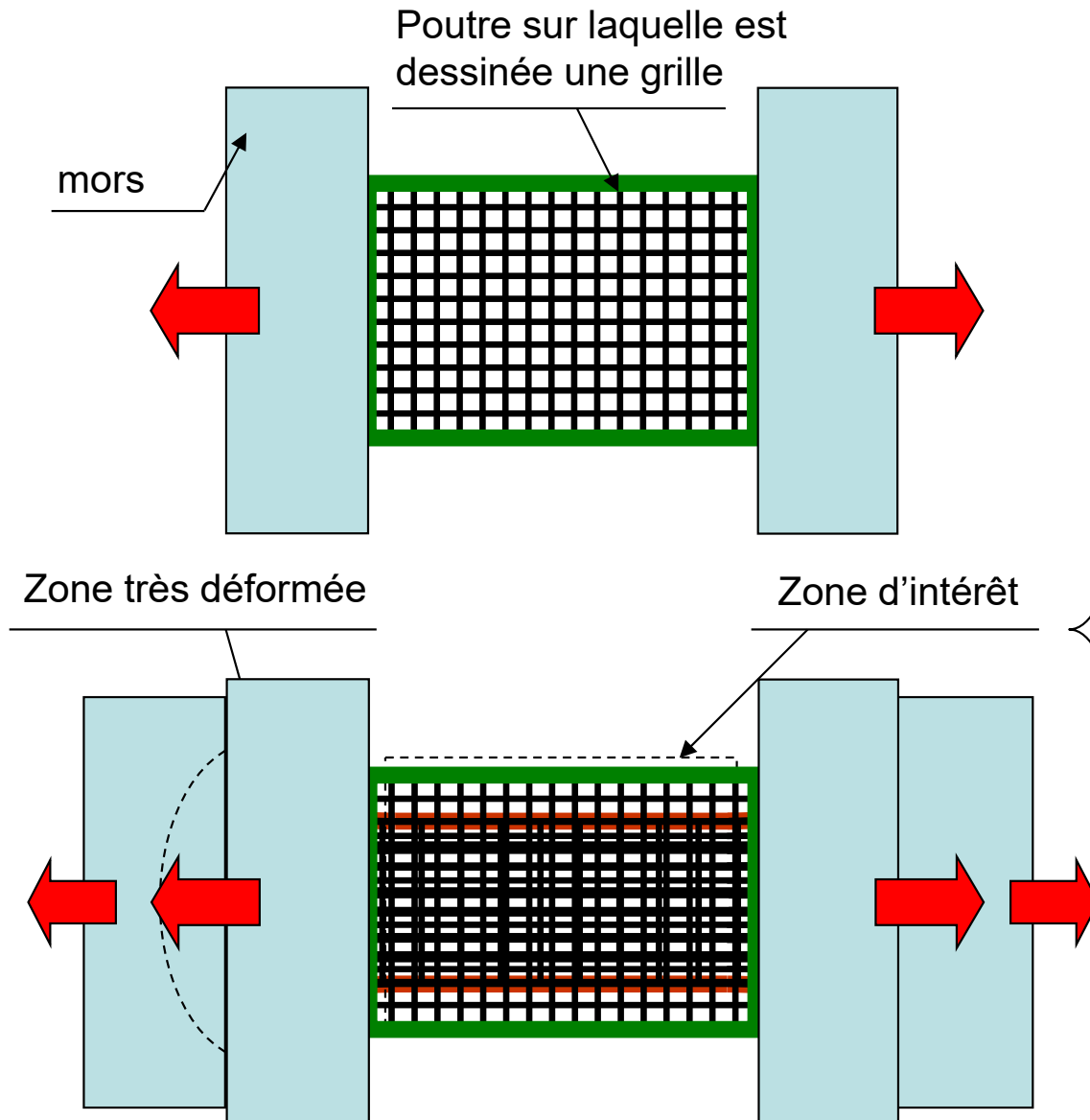
$$\vec{M}_G \left\{ \begin{array}{l} M_x = 0 \\ M_y = 0 \\ M_z = 0 \end{array} \right.$$

Convention sur le signe de N :

- si N est **positif**, la poutre (ou le tronçon) est sollicitée en **traction**.
- si N est **négatif**, la poutre (ou le tronçon) est sollicitée en **compression**.

Expérimentation en traction / compression

Observations



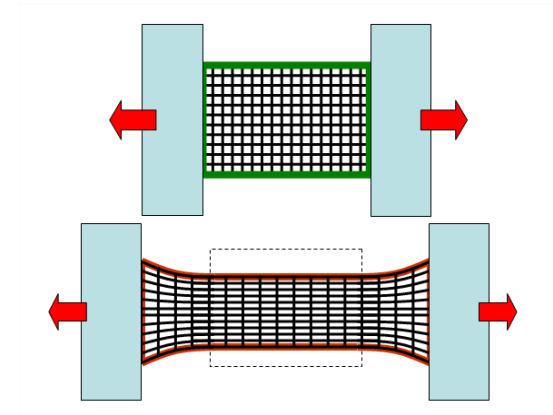
- chaque carreau subit la même déformation
> **déformation homogène**
- les lignes verticales (sections droites) se déplacent en restant verticales
> **mouvement global des sections**
- les lignes verticales se raccourcissent
> **rétrécissement de la section**
- les lignes horizontales s'allongent
> **allongement global** de la longueur initiale

Expérimentation en traction / compression

Analyse

Constats

- Déformation homogène et constante dans la zone d'intérêt
- Pas de glissement des sections droites les unes par rapport aux autres



Conséquences

- Etat de contrainte homogène et constant
- Contraintes tangentielles nulles

D'où le vecteur contrainte en tout point P d'une section S de normale $\vec{n} = \vec{x}$

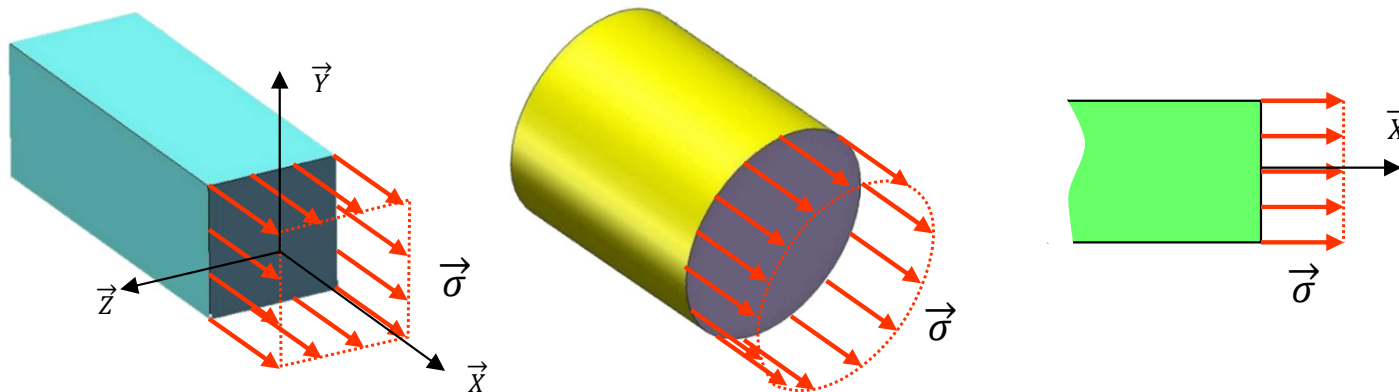
$$\vec{\phi}(P, \vec{x}) = \sigma_{xx} \cdot \vec{x} = \sigma \cdot \vec{x}$$

avec $\sigma_{xx} = \sigma = \text{constante}$

Expression de la contrainte normale

$$N = \iint \sigma_{xx} \cdot dA = \sigma_{xx} \cdot \iint dA = \sigma_{xx} \cdot A \quad \Rightarrow \quad \boxed{\sigma_{xx} = \sigma = \frac{N}{A}}$$

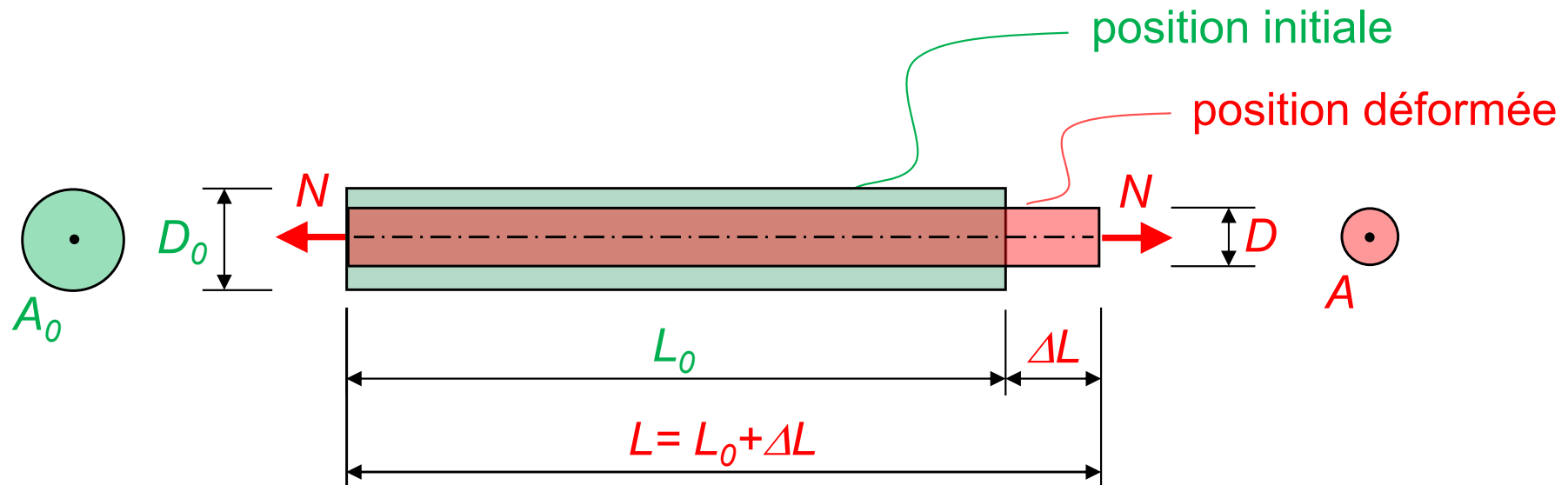
Répartition des contraintes dans une section de l'éprouvette **en traction**.



Rappel

- Contrainte : homogène et constante (dans la section), mais peut évoluer le long de $\vec{x}$
 $\sigma > 0 \Rightarrow$ traction ; $\sigma < 0 \Rightarrow$ compression
- Contraintes tangentielles nulles

On constate expérimentalement que l'allongement axial sous un effort de traction entraîne une réduction des dimensions transversales.



Déformation longitudinale

$$\varepsilon_L = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0}$$

Déformation transversale

$$\varepsilon_T = \frac{\Delta D}{D_0} = \frac{D - D_0}{D_0}$$

Objectif du chapitre

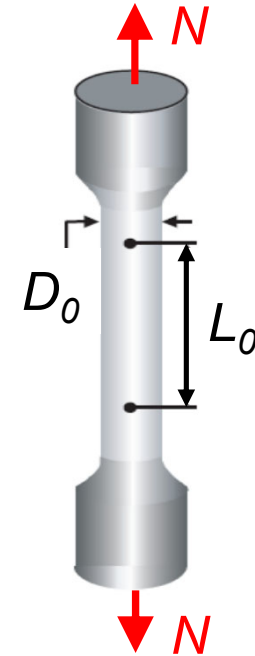
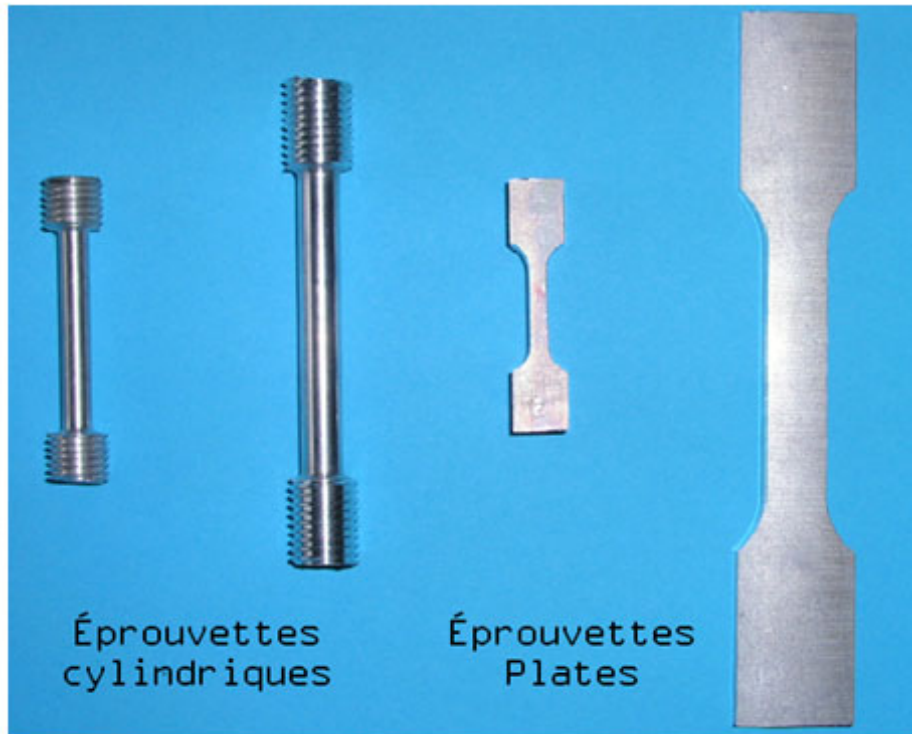
Dimensionner les éléments structurels linéaires sollicités en **traction** ou **compression**.

Plan du chapitre

- Introduction
- Relation contrainte et effort normal
- **Essai de traction**
- Critères de dimensionnement
- Lois de comportement

Permet de déterminer **les caractéristiques mécaniques** d'un matériau (élastiques, plastiques et de ductilité) en quasi-statique.

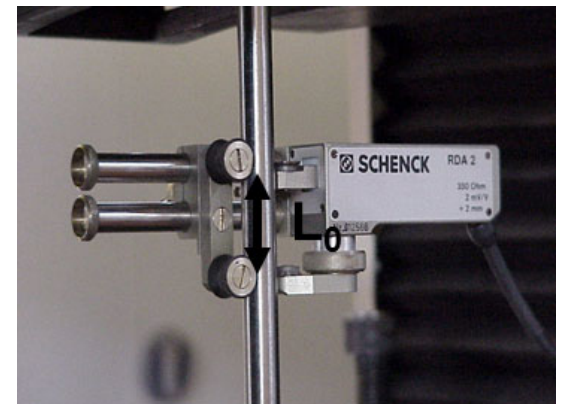
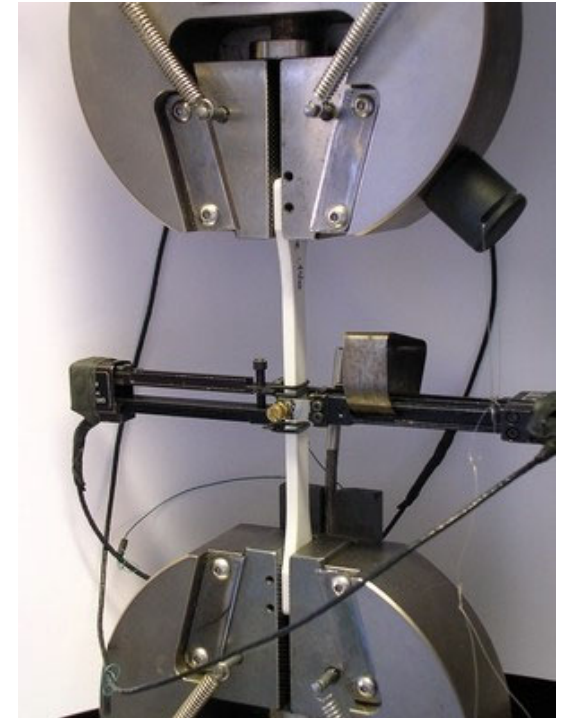
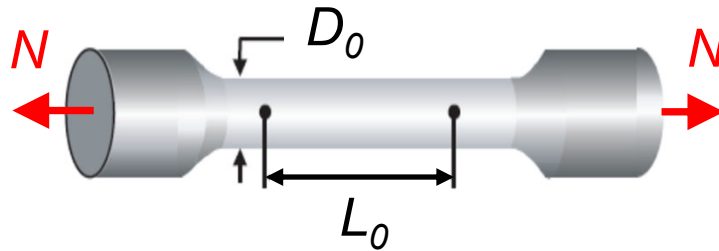
Utilisation d'éprouvettes normalisées



- L_0 : longueur initiale (zone utile), qui servira à calculer l'allongement
- A_0 : section initiale
- D_0 : diamètre initial
- Éprouvette cylindrique en métal :
$$L_0 \approx 5 D_0$$

Essai pratiqué à vitesse constante définie par les normes.

Avant l'essai, on mesure la **longueur initiale L_0** ainsi que le **diamètre initial D_0** de l'éprouvette circulaire.



Pendant l'essai, on mesure :

- la **force de traction** appliquée N
- l'**allongement** ΔL

L'essai de traction sert à caractériser le comportement en traction d'un matériau.

➔ Les résultats doivent être indépendants de la forme de l'éprouvette.

On ne peut donc pas exploiter directement la courbe $N=f(\Delta L)$

➔ 2 modifications

Pour se faire, on divise :

- la force N par l'aire initiale A_0 de la section droite
- l'allongement ΔL par la longueur initiale entre repère L_0

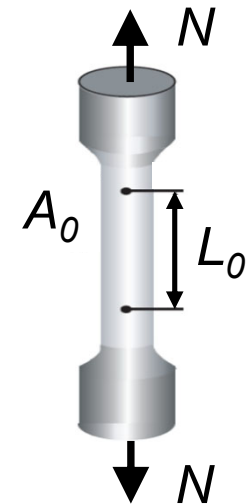
$$\sigma = \frac{N}{A_0} : \text{Contrainte normale}$$

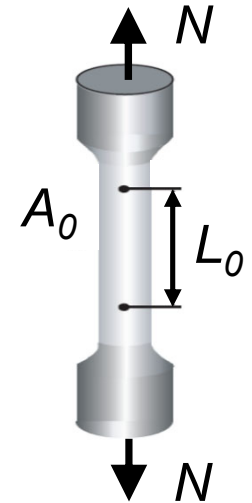
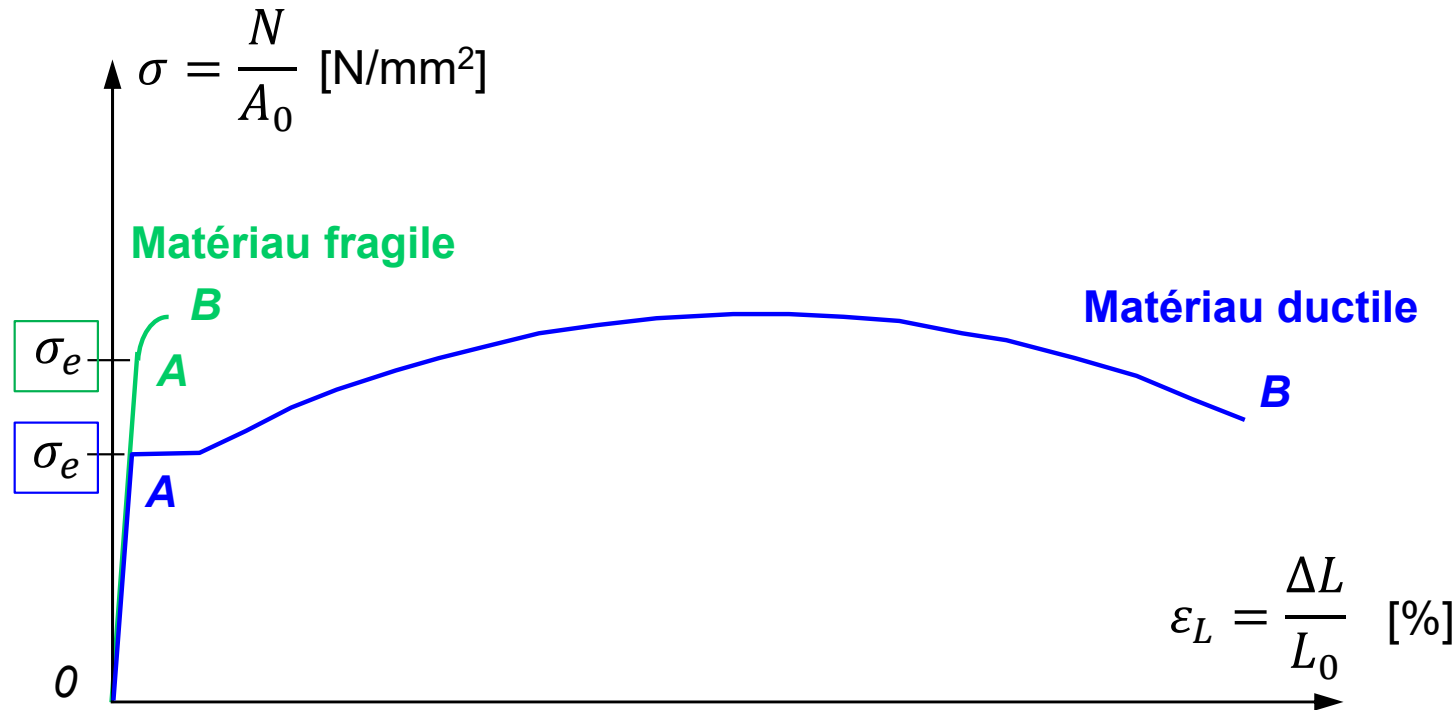
[N/mm²] ou [MPa]

$$\varepsilon_L = \frac{\Delta L}{L_0} : \text{Déformation longitudinale}$$

[%]

Loi de comportement :
 $\sigma = f(\varepsilon_L)$





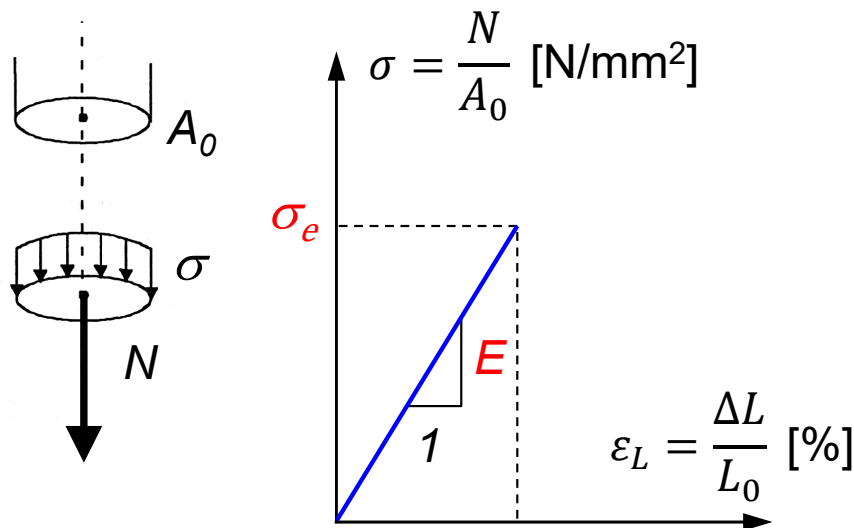
Le diagramme $\sigma = f(\varepsilon_L)$ est généralement composé :

- d'une partie **OA élastique et linéaire** : déformations **réversibles et proportionnelles** à σ
- d'une partie **AB plastique** : déformations **irréversibles**.

Comportements très différents suivant que le matériau soit **ductile** ou **fragile**

Dans la zone élastique, la loi de proportionnalité entre la contrainte de traction $\sigma = N/A_0$ et la déformation longitudinale $\varepsilon_L = \Delta L/L_0$ est la **loi de Hooke** en traction :

$$\sigma = E \cdot \varepsilon_L$$



E est le **module d'élasticité longitudinal** ou **module de Young** du matériau (pente de la droite).

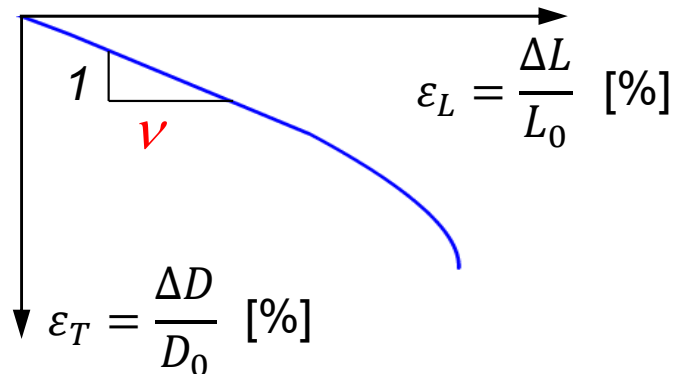
Il s'exprime en kN/mm² (ou GPa).

C'est une caractéristique du matériau.

La contrainte à la fin de la zone élastique est la **limite d'élasticité en traction** du matériau. Elle se note σ_e et s'exprime en N/mm² (ou MPa).

On peut aussi enregistrer le diagramme allongement longitudinal par rapport au rétrécissement transversal que l'on rend indépendant de la géométrie en divisant :

- l'allongement longitudinal ΔL par la longueur initiale L_0
- le rétrécissement transversale ΔD par le diamètre initial D_0 (éprouvette circulaire)



Dans la zone élastique, la loi de proportionnalité entre la déformation transversale ε_T et la déformation longitudinale ε_L est la **loi de Poisson** :

$$\varepsilon_T = -\nu \cdot \varepsilon_L$$

ν est le **coefficient de Poisson** (sans unité). C'est une caractéristique du matériau.

Objectif du chapitre

Dimensionner les éléments structurels linéaires sollicités en **traction** ou **compression**.

Plan du chapitre

- Introduction
- Relation contrainte et effort normal
- Essai de traction
- **Critères de dimensionnement**
- Lois de comportement

- Dimensionnement d'une barre / **contraintes** :

traduit le fait que le matériau reste dans la zone élastique.

$$s \cdot \sigma_{\max} \leq \sigma_e \quad \text{Avec } s \text{ le coefficient de sécurité, } s > 1$$

$$\sigma_{\text{adm}} = \frac{\sigma_e}{s}$$

On définit σ_{adm} la contrainte limite à ne pas dépasser.
 σ_{adm} est appelée la **contrainte limite admissible**.

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{adm}} = \frac{\sigma_e}{s}$$

- Dimensionnement d'une barre / **déplacement** :

le déplacement maximum reste inférieur à une valeur donnée u_{lim} .

$$\Delta L_{\max} \leq \frac{u_{\text{lim}}}{s}$$

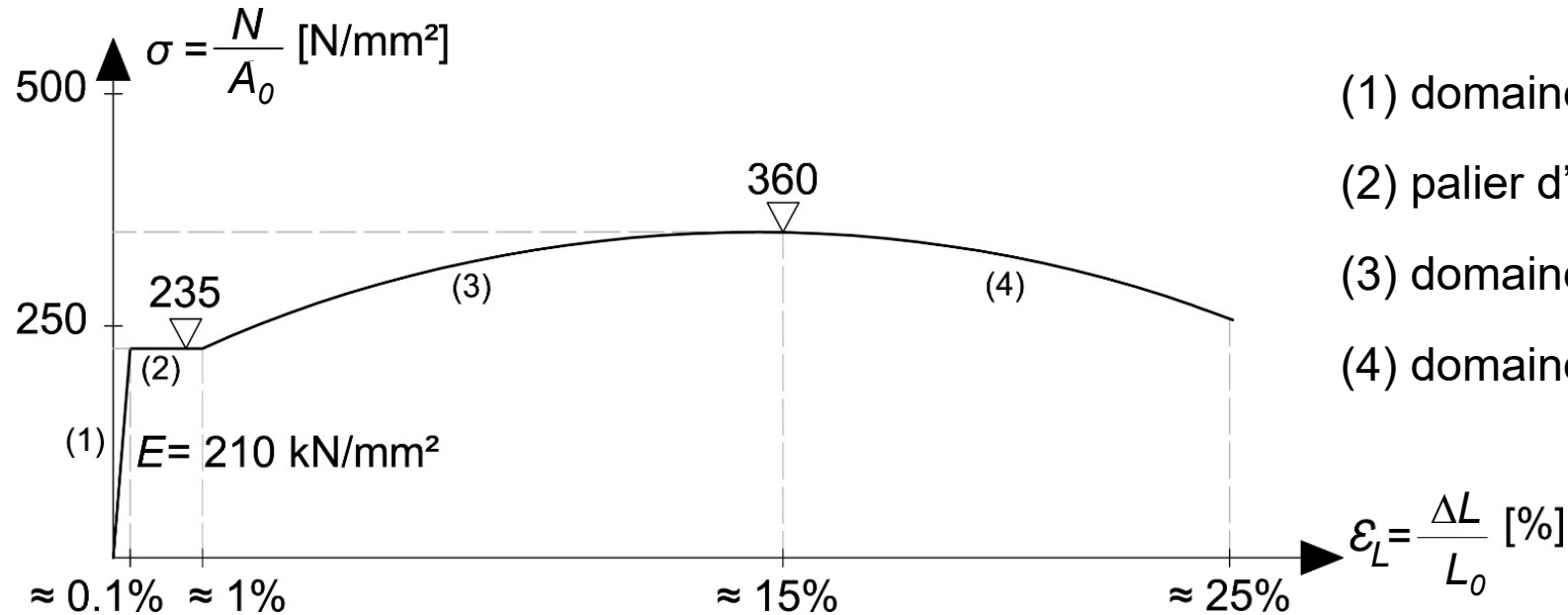
Objectif du chapitre

Dimensionner les éléments structurels linéaires sollicités en **traction** ou **compression**.

Plan du chapitre

- Introduction
- Relation contrainte et effort normal
- Essai de traction
- Critères de dimensionnement
- **Lois de comportement**

Acier de construction S 235

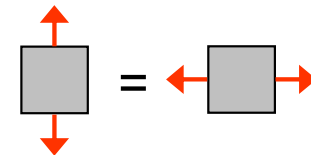
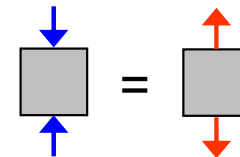


(1) domaine élastique

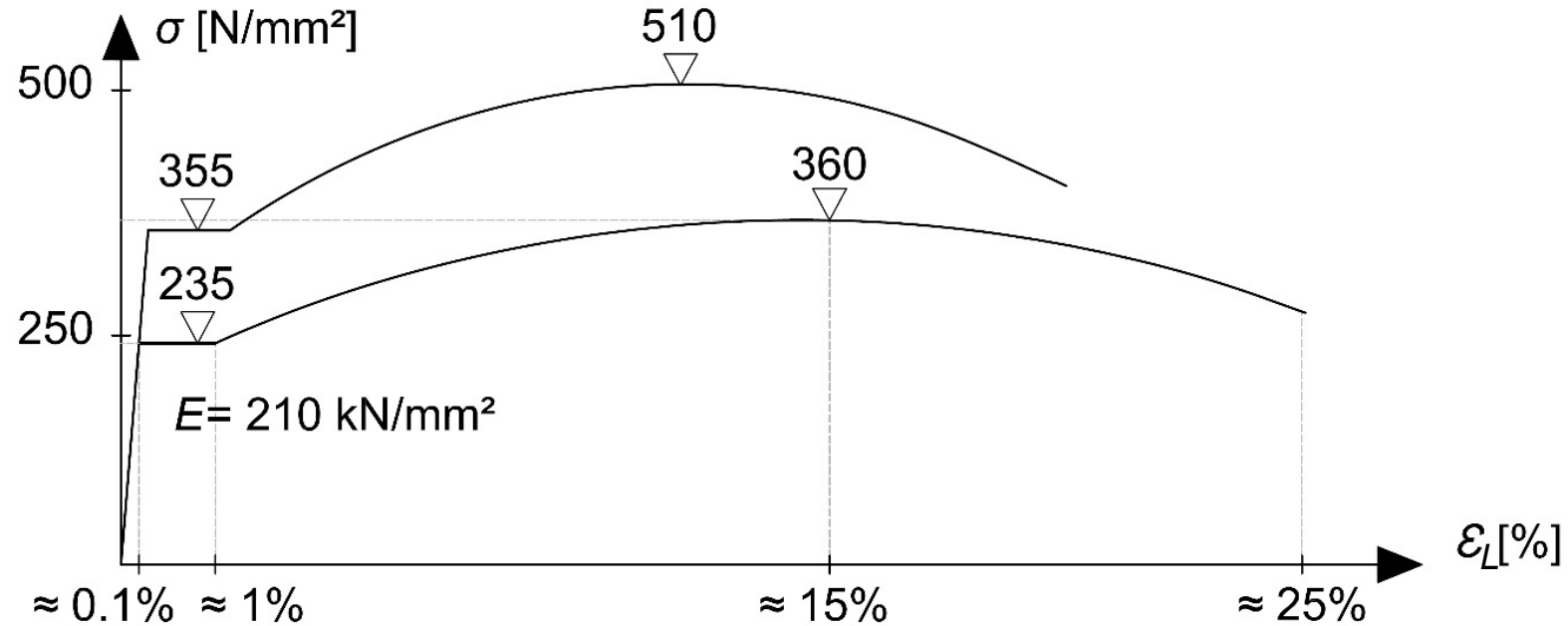
(2) palier d'écoulement

(3) domaine d'écrouissage

(4) domaine de la striction

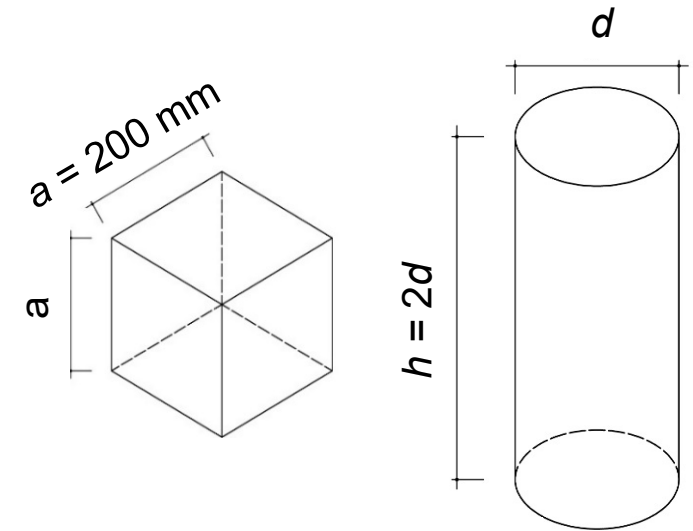
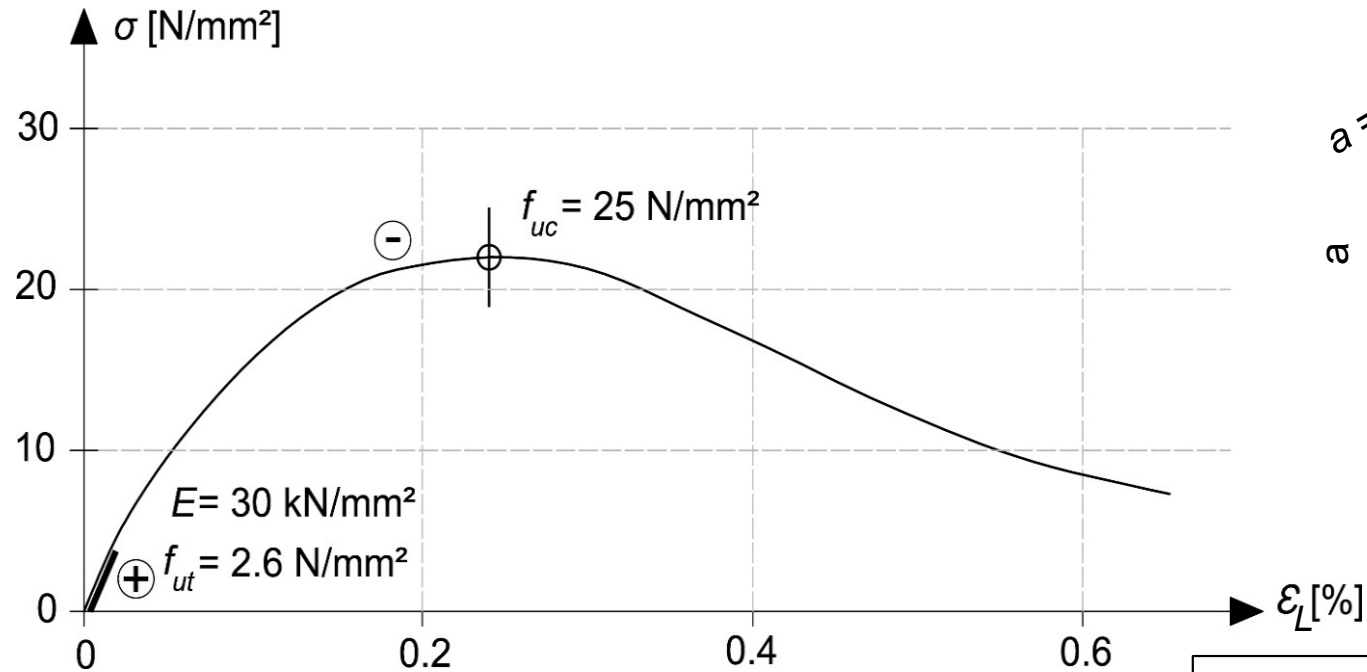
• **isotrope**• **compression = traction**• **régularité des propriétés**
(faible dispersion)

Aciers de construction S 235 et S 355



nuance d'acier	limite d'élasticité f_y [N/mm ²]	résistance à la traction f_u [N/mm ²]	allongement de rupture [%]	désignation ou utilisation
S 235	235	360	26	acier doux
S 355	355	510	22	acier à haute résistance

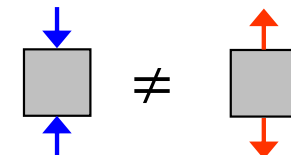
Béton C25/30



Essais à 28 jours

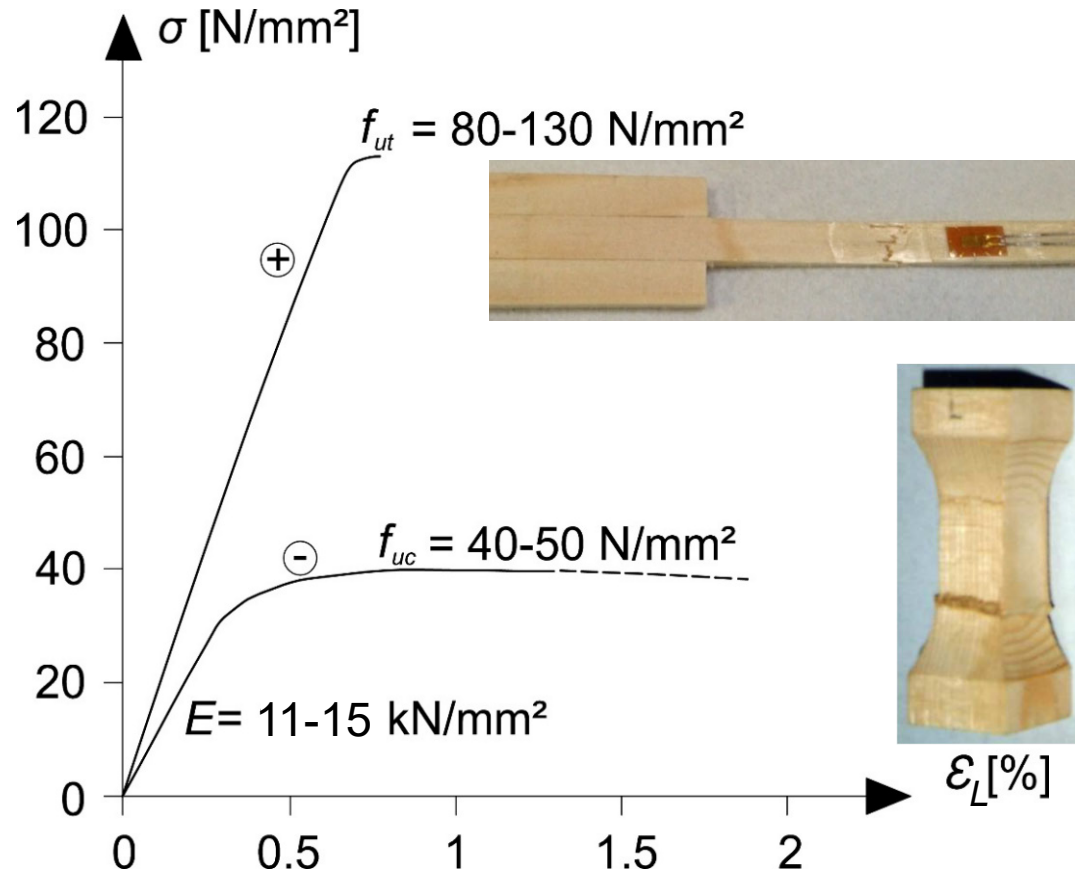


- **isotrope** =
- **compression $\neq$ traction**



- **régularité des propriétés**
(dispersion moyenne)

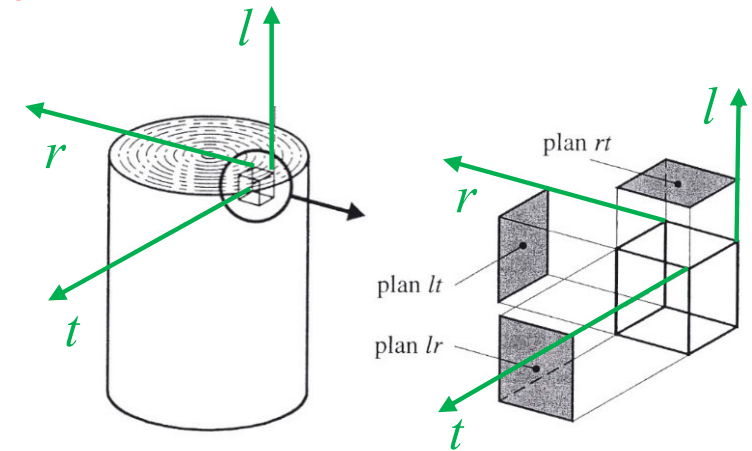
Bois



Traction et compression parallèle aux fibres

Comportement $\perp$ aux fibres :

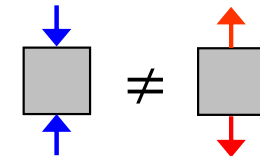
valeurs $\perp$ aux fibres $< 10\%$ valeurs $\parallel$ aux fibres



- **anisotrope** $\neq$

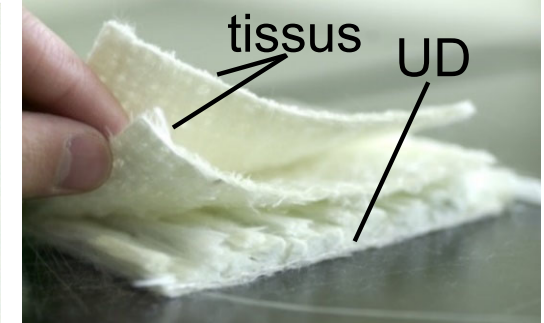
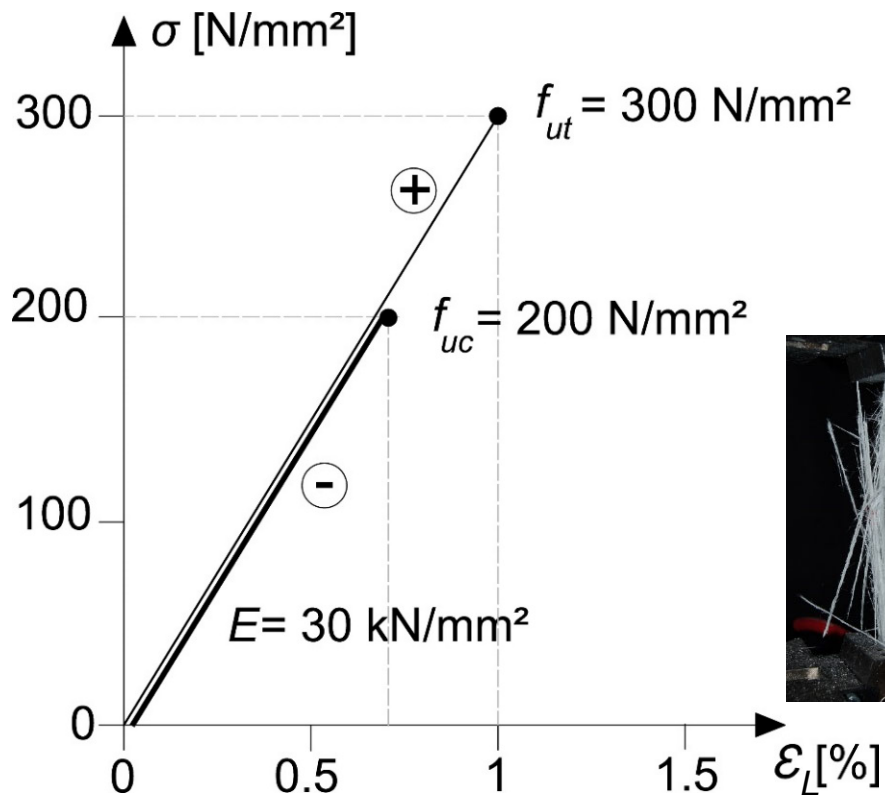
propriétés $\parallel \gg \perp$

- **compression** $\neq$ **traction**



- **variabilité des propriétés**
(grande dispersion)

Matériau composite pultrudé GFRP



Traction et compression parallèle aux fibres

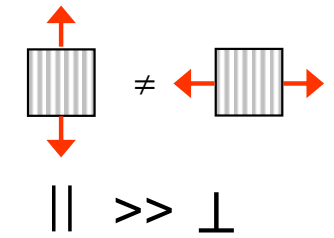
Comportement perpendiculaire aux fibres :

$$E_{\perp} = 3.5 \text{ kN/mm}^2 \ll E_{\parallel} = 30 \text{ kN/mm}^2$$

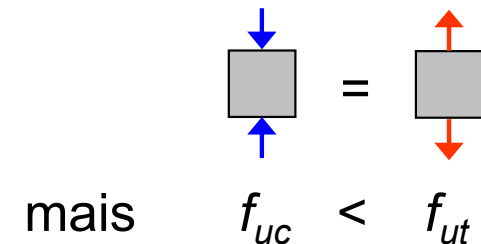
$$f_{u\perp} = 10 \text{ N/mm}^2 \ll f_{u\parallel} = 300 \text{ N/mm}^2$$

• **anisotrope**

propriétés



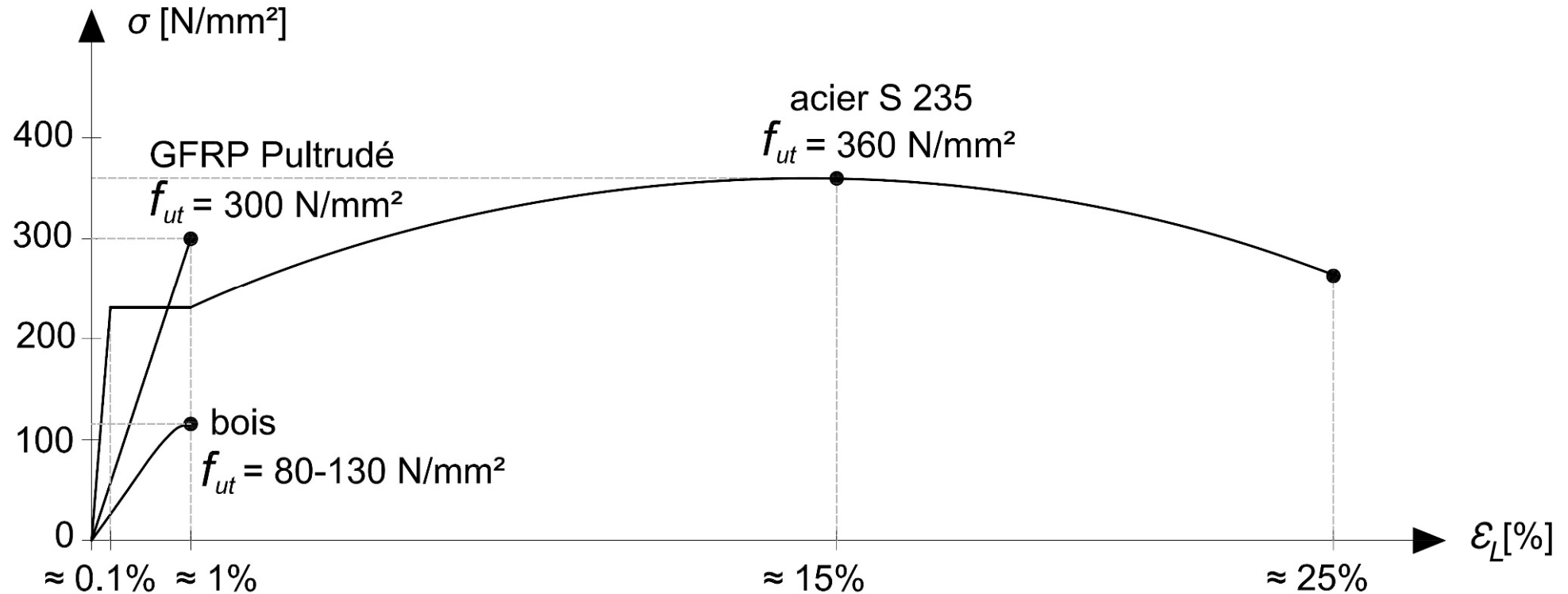
• **compression = traction**



mais

$$f_{uc} < f_{ut}$$

• **régularité des propriétés**
(faible dispersion)



Traction parallèle aux fibres (bois, composite)